

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-004855  
 (43)Date of publication of application : 08.01.2003

(51)Int.Cl. G01T 1/20  
 H01L 31/09

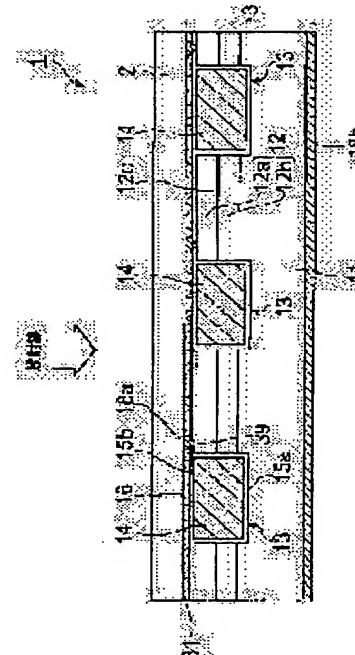
(21)Application number : 2001-193065 (71)Applicant : HAMAMATSU PHOTONICS KK  
 (22)Date of filing : 26.06.2001 (72)Inventor : FUJII YOSHIMAROU  
 OKAMOTO KOJI  
 SAKAMOTO AKIRA

## (54) RADIATION DETECTOR

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a radiation detector suppressing the cross talk of radiation and excellent in image accuracy.

**SOLUTION:** The radiation detector 1 is equipped with a scintillator member 2 for converting radiation into light; and a light detection element 3 comprising a semiconductor substrate 11, a plurality of photodiodes 12 for converting the light converted by the scintillator member 2 formed on the semiconductor substrate 11 unidimensionally or two-dimensionally to an electric signal, a trench groove 13 formed between a plurality of the photodiodes 12 to separate a plurality of the photodiodes 12, and a trench groove 13 filled with the radiation shield member 14. Having a radiation shield member 14 charged in the trench groove 13. In this radiation detector 1, it is suppressed that the radiation transmitted without being converted to light by the scintillator 2 generates cross talk between the photodiodes 12 due to the trench groove 13 filled with the radiation shield member.



[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-4855

(P2003-4855A)

(43) 公開日 平成15年1月8日(2003.1.8)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 1 T 1/20

識別記号

F I

テマコト<sup>\*</sup>(参考)

G 0 1 T 1/20

E 2 G 0 8 8

B 5 F 0 8 8

C

G

H 0 1 L 31/09

H 0 1 L 31/00

A

審査請求 未請求 請求項の数11 O.L (全7頁)

(21) 出願番号

特願2001-193065(P2001-193065)

(22) 出願日

平成13年6月26日(2001.6.26)

(71) 出願人 000236436

浜松ホトニクス株式会社

静岡県浜松市市野町1126番地の1

(72) 発明者 藤井 義磨郎

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(72) 発明者 岡本 浩二

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松ホ  
トニクス株式会社内

(74) 代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹 (外2名)

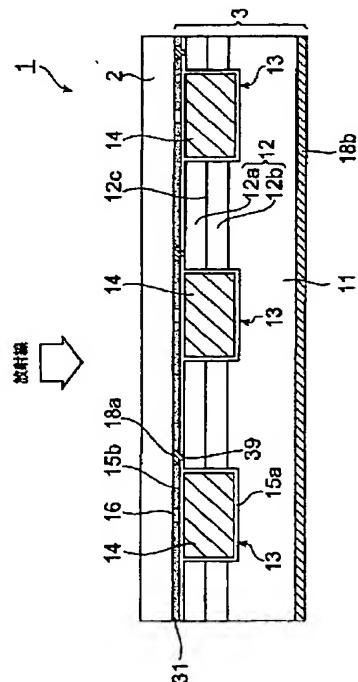
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線検出器

(57) 【要約】

【課題】 放射線のクロストークが抑制され、画像精度に優れた放射線検出器を提供する。

【解決手段】 本発明による放射線検出器1は、放射線を光に変換するシンチレータ部材2と、半導体基板11と、半導体基板11上に1次元状又は2次元状に形成されシンチレータ部材2によって変換された光を電気信号へと変換する複数のホトダイオード12と、複数のホトダイオード12の間に形成され複数のホトダイオード12を分離するトレンチ溝13と、トレンチ溝13内に充填された放射線遮蔽部材14と、トレンチ溝13内に充填された放射線遮蔽部材14とを有する光検出素子3と、を備えたことを特徴とする。このような放射線検出器1によれば、トレンチ溝13内には放射線遮蔽部材14が充填されているので、シンチレータ部材2で光に変換されずに透過した放射線が各ホトダイオード12間でクロトークすることが抑制される。-



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 放射線を光に変換するシンチレータ部材と、前記シンチレータ部材がその光入射面側に設けられ、前記シンチレータ部材によって変換された光を電気信号へと変換して出力する光検出素子とを備え、前記光検出素子は、複数のホトダイオードが形成されると共に前記複数のホトダイオードの間に分離用のトレンチ溝が形成された半導体基板と、前記トレンチ溝内に充填された放射線遮蔽部材と、を有することを特徴とする放射線検出器。

【請求項2】 前記トレンチ溝は、前記複数のホトダイオードの各PN接合部より深い位置まで形成されている請求項1に記載の放射線検出器。

【請求項3】 前記トレンチ溝は、前記半導体基板まで達している請求項1又は2に記載の放射線検出器。

【請求項4】 前記トレンチ溝の露出面と前記放射線遮蔽部材との間には、第1絶縁膜が介在されている請求項1～3の何れか1項に記載の放射線検出器。

【請求項5】 前記放射線遮蔽部材上には第2絶縁膜が設けられ、前記第2絶縁膜上には前記複数のホトダイオードのPN接合に対し電気的に接続された配線、が形成されている請求項1～4の何れか1項に記載の放射線検出器。

【請求項6】 前記第2絶縁膜は、前記シンチレータが発光する光を透過する透光性材料から成る請求項5に記載の放射線検出器。

【請求項7】 前記トレンチ溝は、誘導結合プラズマエッティングにより形成されている請求項1～6の何れかに記載の放射線検出器。

【請求項8】 前記放射線遮蔽部材は、金、銅、タンガステン、モリブデン、鉛、のうちの何れかを含む請求項1～7の何れか1項に記載の放射線検出器。

【請求項9】 前記シンチレータ部材と前記光検出素子との間に設けられ、前記シンチレータ部材によって変換された光を前記複数のホトダイオードへと導く複数の光ファイバが配列された光ファイバプレート、を更に備えた請求項1～8の何れか1項に記載の放射線検出器。

【請求項10】 前記シンチレータ部材は、放射線遮蔽材料から成り前記複数のホトダイオードに対応するよう前記シンチレータ部材を複数に分割する仕切り板、を有する請求項1～9の何れか1項に記載の放射線検出器。

【請求項11】 前記仕切り板の表面には光反射板が形成されている請求項10に記載の放射線検出器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、放射線CT装置等の医療用装置又は手荷物検査装置等に使用される放射線検出器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 特許第2720159号公報は、放射線を光に変換するシンチレータ素子と、光を電気信号に変換する光電変換素子とを備えた放射線検出器が開示されている。この放射線検出器には仕切り板が設けられており、隣接する各チャンネル間でのクロストークを抑制することが可能になっている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 放射線検出器では、シンチレータによって光に変換されずにシンチレータを透過してしまう放射線があり、透過した放射線は隣接する各チャンネル間をクロストークし、最終的に得られる画像精度に悪影響を与えることがあった。しかしながら、従来型の放射線検出器に設けられた仕切り板によっては、このような放射線が各チャンネル間でクロストークが発生するのを抑制することはできなかった。そこで、本発明の目的は、画像精度に優れた放射線検出器を提供することにある。また、本発明の他の目的は、放射線のクロストークの発生が抑制された放射線検出器を提供することにある。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するため、本発明による放射線検出器は、放射線を光に変換するシンチレータ部材と、シンチレータ部材がその光入射面側に設けられシンチレータ部材によって変換された光を電気信号へと変換して出力する光検出素子と、を備え、光検出素子は、複数のホトダイオードが形成されると共に複数のホトダイオードの間に分離用のトレンチ溝が形成された半導体基板と、トレンチ溝内に充填された放射線遮蔽部材と、を有することを特徴とする。このような放射線検出器によれば、トレンチ溝内には放射線遮蔽部材が充填されているので、シンチレータ部材で光に変換されずに透過した放射線が各ホトダイオード間でクロトークすることが抑制される。

【0005】 トレンチ溝は、複数のホトダイオードの各PN接合部より深い位置まで形成されていることが望ましい。これにより、各ホトダイオード間での放射線のクロストーク、又は各ホトダイオード内に発生したキャリアが隣接するホトダイオードへと互いに移動することが抑制される。

【0006】 トレンチ溝は、更に半導体基板まで達していることが望ましい。これにより、複数のホトダイオードは半導体基板上で分割されるので、各ホトダイオード間での放射線のクロストーク、又は各ホトダイオード内に発生したキャリアが隣接するホトダイオードへと互いに移動することが更に抑制される。

【0007】 トレンチ溝の露出面と放射線遮蔽部材との間には、第1絶縁膜が介在されていることが望ましい。これにより、トレンチ溝近傍で発生するリーク電流を抑制すると共に、PN接合部を保護することが可能とな

る。

【0008】放射線遮蔽部材上には第2絶縁膜が設けられ、第2絶縁膜上には複数のホトダイオードのPN接合に対し電気的に接続された配線、が形成されていてよい。放射線遮蔽部材上を配線のためのスペースとして使用することにより、放射線検出器を小型化することが可能となる。

【0009】この第2絶縁膜は、シンチレータが発光する光を透過する透光性材料から成ることが望ましい。これにより、第2絶縁膜は光検出素子のうちシンチレータ部材が設けられる側の面全体に対して設けることが可能となる。

【0010】このトレンチ溝は、誘導結合プラズマエッチングにより形成されていることが望ましい。これにより、エッティング処理によって分離された各ホトダイオード間の幅を狭くすることが可能となる。また、加工による歪みや損傷も抑えられるため、これらによる暗電流が発生するのを抑制することが可能となる。

【0011】放射線遮蔽部材は、例えば、金、銅、タンゲステン、モリブデン、鉛、のうちの何れかを含んでいい。

【0012】シンチレータ部材と光検出素子との間に設けられ、シンチレータ部材によって変換された光を複数のホトダイオードへと導く複数の光ファイバが配列された光ファイバプレート、を更に備えていてよい。これにより、シンチレータ部材によって変換された光は複数のホトダイオードへと漏れなく導かれる。

【0013】シンチレータ部材は、放射線遮蔽材料から成り複数のホトダイオードに対応するようにシンチレータ部材を複数に分割する仕切り板、を有していてよい。シンチレータ部材に放射線遮蔽材料から成る仕切り板が設けられることで、シンチレータ部材内の放射線のクロストークを防止することが可能となる。

【0014】仕切り板の表面には光反射板が形成されていることが望ましい。これにより、シンチレータ部材内での光のクロストークを防止することが可能となる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、図面に従って本発明の実施形態に係る放射線検出器について説明する。なお、以下の説明では、同一または相当部分には同一符号を付し、重複する説明は省略する。

【0016】図1は、第1実施形態に係る放射線検出器の側面断面図である。図2は、放射線検出器内の光検出素子の平面図である。放射線検出器1は、放射線を光に変換するシンチレータ部材2と、光学的接着剤31によつてシンチレータ部材2に接着されシンチレータ部材2によって変換された光を更に電気信号へと変換する光検出素子3と、から構成されている。光学的接着剤31には、シンチレータ部材2が変換した光を透過するものが使用されている。

【0017】光検出素子3は、半導体基板11（材料：N型Si、不純物濃度： $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 、厚み： $350 \mu\text{m}$ ）上に2次元状に配列されシンチレータ部材2によって変換された光を更に電気信号へと変換する複数のホトダイオード12と、複数のホトダイオード12が変換した電気信号が取り出される上面電極18a、裏面電極18bとを備えている。ホトダイオード12は更に、P型半導体層12a（材料：P型Si、不純物濃度： $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 、厚み： $0.5 \mu\text{m}$ ）、及びN型半導体層12b（材料：N型Si、不純物濃度： $5 \times 10^{12} / \text{cm}^3$ 、厚み： $4.5 \mu\text{m}$ ）とから構成されている。N型半導体層12bの不純物濃度はP型半導体層12aの不純物濃度より低く設定されているので、これらの間に形成される空乏層はN型半導体12b側に広がる。なお、これらの導電型は反転させていてよい。

【0018】複数のホトダイオード12の間にはトレンチ溝13（溝幅： $50 \sim 100 \mu\text{m}$ 、溝深さ： $15 \sim 20 \mu\text{m}$ ）がそれぞれ形成されており、各ホトダイオード12が相互に電気的な影響を受けないように素子分離されている。

【0019】トレンチ溝13には更に放射線遮蔽部材14が充填されており、これにより、シンチレータ部材2で光に変換されずにシンチレータ部材2を透過した放射線が、各ホトダイオード12間でクロストークを起こすことが抑制されている。また、これによって光検出素子3の強度が向上する、といった利点もある。放射線遮蔽部材14には、放射線吸収性の高い高密度金属として、銅が使用されている。

【0020】このトレンチ溝13は、図1に示されるように、ホトダイオード12を構成するP型半導体層12aとN型半導体層12bとの間のPN接合部を超えて、更に半導体基板11にまで達するように形成されている。これによってホトダイオード12は半導体基板11上で分割され、またトレンチ溝13内には放射線遮蔽部材14が充填されているので、各ホトダイオード12間での放射線のクロストークが更に抑制される。またこれによって、各ホトダイオード12内に発生したキャリアが隣接するホトダイオード12へと互いに移動することが同様に抑制されている。

【0021】トレンチ溝13の露出面と放射線遮蔽部材14との間には第1絶縁膜15a（熱酸化膜：SiO<sub>2</sub>）が介在されており、トレンチ溝13近傍で発生するリーク電流を抑制すると共に、PN接合を保護することが可能となっている。

【0022】また、放射線遮蔽部材14上には第2絶縁膜15b（透明保護膜）が形成されており、この第2絶縁膜15b上には配線16が設けられている。図2に示されるように、配線16の一端はホトダイオード12のPN接合12cに対して電気的に接続され、放射線遮蔽部材14上を這った後、他端は電極パッド38へと接続

されている。第1実施形態による放射線検出器1では、放射線遮蔽部材14上のスペースを配線16に使用することで、放射線検出器1を小型化することが可能となっている。なお、第2絶縁膜15bはシンチレータ部材2が発光する光を透過する透過性材料から成る。これにより、図1に示されるように、放射線遮蔽部材14上だけでなく光検出素子3の全体に対して第2絶縁膜15bを設けることが可能となっている。

【0023】既に説明したように、放射線検出器1では、シンチレータ部材2に入射した放射線は、シンチレータ部材2によってまず光に変換される。この光は光検出素子3へと進み、ホトダイオード12によって更に電気信号へと変換され、この電気信号は上面電極18a、裏面電極18bによって取り出される。光の強度は放射線の強度に比例し、また取り出される電気信号の強度も光強度に比例するため、放射線の強弱のパターンがそのまま電気信号に反映され、モニタなどを通じてそのパターンを肉眼で見ることが可能となっている。

【0024】第1実施形態による放射線検出器1では、放射線遮蔽部材14が設けられているので、シンチレータ部材2によって光へと変換されずシンチレータ部材2を透過しホトダイオード12へと進んだ放射線は、隣接するホトダイオード12へとクロストークすることが抑制されている。また、この放射線遮蔽部材14が充填されているトレンチ溝13は、半導体基板11に達するまでの深さに形成されているため、ホトダイオード12内に発生したキャリアが隣接するホトダイオード12へと移動することなく、また、トレンチ溝は第1絶縁膜が形成されているので、リーク電流の発生も抑制されている。従ってキャリアのクロストークについても抑制されている。

【0025】このように、放射線検出器1では放射線、光、キャリアの何れについてもクロストークが抑制されたものになっているため、放射線の強弱パターンが微細な点まで忠実に反映された電気信号のパターンが得られ、画像精度に優れたものとなっている。第1実施形態による放射線検出器1では、更にトレンチ溝13の溝幅が狭く形成されているため、更に、不感応領域の少ない放射線検出器1が実現されている。この点についての詳細は後述する。

【0026】図3(a)～3(d)、図4(a)～4(d)は、第1実施形態による放射線検出器の光検出素子の各製造工程を示す図である。光検出素子3の製造にあたっては、図3(a)に示すように、まず半導体基板11上にエピタキシャル成長法を用いて厚さ約5μmのN型半導体層12bを形成する。

【0027】次に図3(b)に示すように、N型半導体層12bの露出表面側からP型不純物としてB(ボロン)を拡散・添加し、N型半導体層12bの表層部に厚さ0.5μmのP型半導体層12aを形成する。従つ

て、N型半導体層12bの厚さは4.5μmとなる。この工程によってPN接合12cを有するホトダイオードが形成される。

【0028】次に図3(c)に示すように、酸化性雰囲気中で熱処理を行うことによりP型半導体層12aの表面を熱酸化し厚さ0.1μmの絶縁膜15a'(SiO<sub>2</sub>)を堆積・成膜する。なお、この堆積法としてCVD法(化学的気相成長法)やスパッタ法などを用いてよい。

【0029】次に図3(d)に示すように、ICP(誘導結合プラズマ)エッティングにより、所定の位置に、溝幅32:5.0～100μm、溝深さ33:1.5～20μmのトレンチ溝13を形成する。エッティングは、ホトリソグラフィー技術を用いて絶縁膜15a'上にマスクパターンを形成し、絶縁膜を除去した後に行われる。このトレンチ溝13は、半導体基板11とN型半導体層12bとの境界面から半導体基板11へと1.0～1.5μm食い込んだ深さに形成されるため、図3(b)の工程で形成されたホトダイオードは電気的に相互の影響を受けないように素子分離され、複数のホトダイオード12に分割される。特に、ホトダイオード12に対する光照射によって生成されたキャリアが隣接するホトダイオード12へと移動してキャリアのクロストークが生じること、が抑制されている。

【0030】また、このICP(誘導結合プラズマ)エッティングでは、微細な加工が可能であるためトレンチ溝13の溝幅32を狭く形成することが可能となる。特開平1-191085号公報や特開平10-10235号公報には、ダイヤモンドカッターなどで形成された溝内にクロストーク防止用の仕切り板が挿入された放射線検出器が開示されているが、この方法では溝幅は少なくともダイヤモンドカッターの厚さ数100μm以上となり、更に加工歪みや損傷が多く残るため、これらによる悪影響(リーク電流が発生しやすくなる)を回避する分として加工端面から1.00μm程度溝幅を余計に設ける必要があった。第1実施形態が採用している誘導結合プラズマエッティングでは、上記したようにトレンチ溝13の溝幅32を5.0～100μmに形成することが可能である。これにより、各ホトダイオード12の面積を十分にとることができ、シンチレータ部材2が変換した光に対して反応しない不感応領域(即ち、溝部領域)が少なく、空間利用効率、空間分解能に優れた放射線検出器1が実現される。

【0031】次に図4(a)に示すように、水分を含む酸化性雰囲気中で熱処理(850℃～1100℃)を行うことにより、図3(d)に示す工程によって露出した半導体層表面(Si)を熱酸化して第1絶縁膜15a(SiO<sub>2</sub>)を形成する。なお、この第1絶縁膜15aと絶縁膜15a'は連続している。

【0032】次に図4(b)に示すように、図3(d)

に示す工程によって形成されたトレンチ溝13に放射線遮蔽部材14を充填する。この充填工程は、スパッタ蒸着法又はスクリーン印刷法によって行われる。スパッタ蒸着法の場合、先ずチタン(Ti)などの金属をスパッタ蒸着によりトレンチ溝13内に付着させた上で、銅(Cu)を無電界メッキする(チタン、銅=放射線遮蔽部材14)。この際、メッキした部分がトレンチ溝13の中央部で凸状になる場合には、エッチングにより除去するようとする。スクリーン印刷法の場合、銅などの放射線遮蔽作用のある金属を含む金属ベースト(すなわち、これが放射線遮蔽部材14)を、マスクを介してトレンチ溝13内に埋め込む。トレンチ溝13内に埋め込む放射線遮蔽部材14としては、樹脂に放射線遮蔽作用のある粒子を含ませたものや、p型半導体などを使用することもできる。

【0033】次に図4(c)に示すように、アクリル系樹脂から成る厚さ約 $1\text{ }\mu\text{m}\sim 10\text{ }\mu\text{m}$ の透明保護膜(第2絶縁膜)15bを、ホトダイオード12が形成されている側に形成する(これについては図1では省略されている)。これにより、シンチレータを光検出素子上に固定するシンチレータアッセイ時の、ホトダイオード12の保護が可能となる。

【0034】なお、光検出素子3を、図2に示すようにホトダイオード12を2次元的に配列することにより構成し、CMOSトランジスタなどから成る信号処理回路を同一基板上に形成して信号処理を行わせるように用いる場合には、基板上のCMOSトランジスタは、シンチレータアッセイ工程時にこの透明保護膜(第2絶縁膜)15bにより機械的に保護されることが可能となる。

【0035】最後に図4(d)に示すように、上面電極18a及び裏面電極18b、配線16とをスパッタ法、または蒸着法により形成し、図2に示すように電極パッド38を表面両側に設け、光検出素子3が完成する。なお、上面電極18aの設置は、コンタクトホール39をパターニングで開口した後に行われる。

【0036】このようにして作製された光検出素子3は、シンチレータ部材2が発光する光を透過する光学的接着剤31によりシンチレータ部材2に接着され、放射線検出器1が完成する。

【0037】図5(a)は、第2実施形態に係る放射線検出器の側面断面図である。図5(b)は、第3実施形態に係る放射線検出器の側面断面図である。特に言及しない箇所については、第1実施形態と同一であるものとする。第2実施形態による放射線検出器101では、複数の光ファイバ150aが2次元状に配列された光ファイバプレート150が、シンチレータ部材2と光検出素子3との間に光学的接着剤によって接着された状態で設けられている。シンチレータ部材2によって変換された光は、各光ファイバ150aによって複数のホトダイオード12へと導かれる。これにより、各光ファイバ15

0aの入力端に入力された各光は漏れなく光ファイバ150aの出力端に出力され、光のクロストークを防止することが可能となっている。

【0038】第3実施形態による放射線検出器201では、シンチレータ部材202内に、複数のホトダイオード12に対応するようにシンチレータ部材202を分割する仕切り板260が設けられている。仕切り板260は、放射線遮蔽材料から成るため、シンチレータ部材202内での放射線のクロストークを防止することが可能となっている。この仕切り板260の表面には、更に光反射板260aが形成されており、これにより、更にシンチレータ部材202内の光のクロストークを防止することも可能となっている。

【0039】以上、本発明をその実施形態に基づき具体的に説明したが、本発明は、本発明を実施するにあたって前記実施形態に限定されるものではなく、本発明の請求項の範囲内に該当する発明の全ての変更を包含し、配置、構成、形状、サイズ、などについて変更が可能である。

#### 【0040】

【発明の効果】本発明では、複数のホトダイオード間に形成されたトレンチ溝内に放射線遮蔽部材が充填されているので、シンチレータ部材で光に変換されずに透過した放射線が各ホトダイオード間でクロストークすることが抑制される。これにより画像精度に優れた放射線検出器が実現される。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、第1実施形態に係る放射線検出器の側面断面図である。

【図2】図2は、放射線検出器内の光検出素子の平面図である。

【図3】図3(a)～3(d)は、第1実施形態による放射線検出器の光検出素子の各製造工程を示す図である。

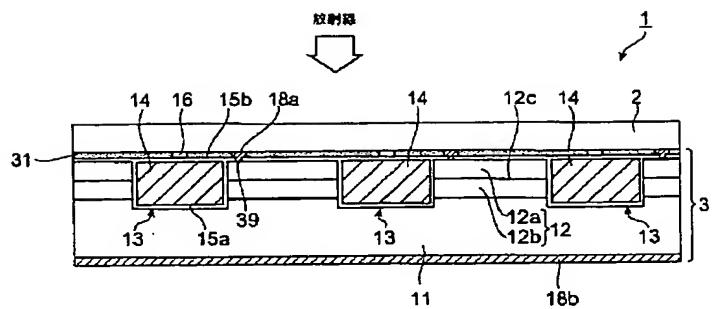
【図4】図4(a)～4(d)は、第1実施形態による放射線検出器の光検出素子の各製造工程を示す図である。

【図5】図5(a)は、第2実施形態に係る放射線検出器の側面断面図であり、図5(b)は、第3実施形態に係る放射線検出器の側面断面図である。

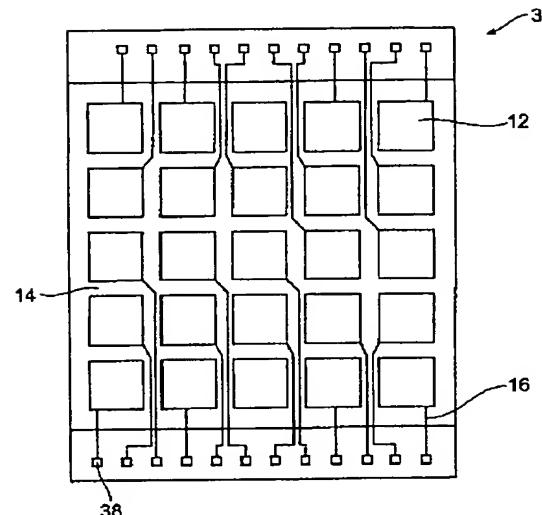
#### 【符号の説明】

1, 101, 201…放射線検出器、2, 202…シンチレータ部材、3…光検出素子、11…半導体基板、12…ホトダイオード、12a…P型半導体層、12b…N型半導体層、12c…PN接合部、13…トレンチ溝、14…放射線遮蔽部材、15a…第1絶縁膜、15b…第2絶縁膜、16…配線、150…光ファイバプレート、150a…光ファイバ、260…仕切り板、260a…光反射板。

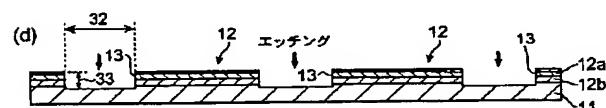
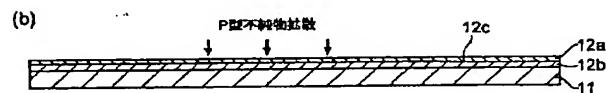
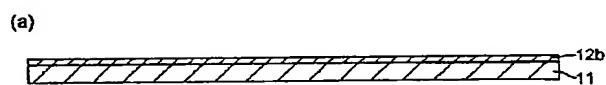
【図1】



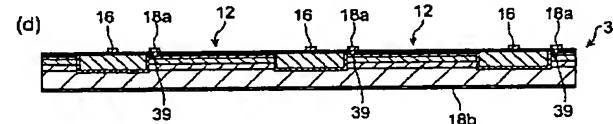
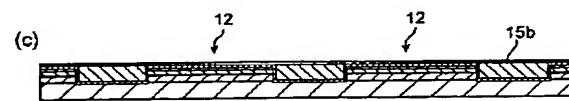
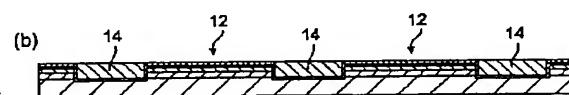
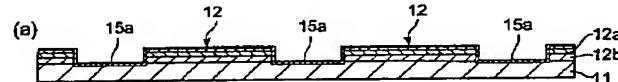
【図2】



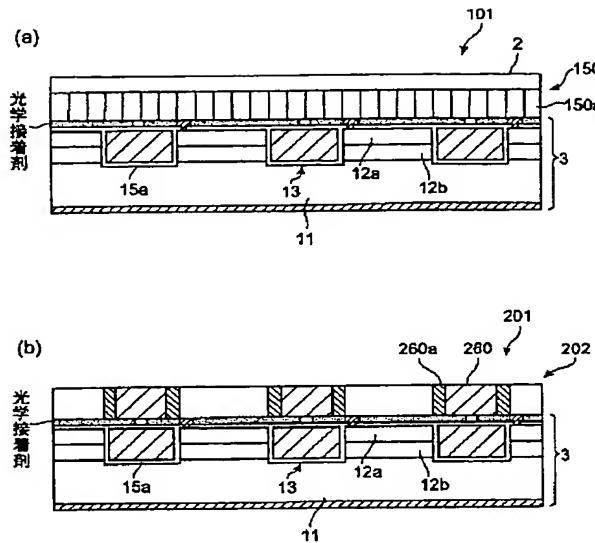
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 坂本 明

静岡県浜松市市野町1126番地の1 浜松示  
トニクス株式会社内

F ターム(参考) 2G088 EE01 EE29 GG19 JJ05 JJ29

JJ37

5F088 AA01 BA20 BB03 BB07 DA20  
HA15 JA11 JA17 JA20